



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 101 09 965.7

**Anmeldetag:** 1. März 2001

**Anmelder/Inhaber:** Fa. Carl Zeiss, Heidenheim/DE

**Bezeichnung:** Teilchenoptische Linsenordnung und Verfahren  
unter Einsatz einer solchen Linsenordnung

**IPC:** H 01 J, G 03 F

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der  
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 5. Dezember 2001  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

**Jerofsky**

# DIEHL · GLAESER HITTL & PARTNER

GESELLSCHAFT BÜRGERLICHEN RECHTS

Patentanwälte · Augustenstrasse 46 · D - 80333 München

Dr. Hermann O. Th. Diehl · Diplom-Physiker  
Joachim W. Glaeser · Diplom-Ingenieur\*  
Dr. Elmar Hittl · Diplom-Chemiker  
Dr. Elisabeth Engelhard · Diplom-Biologin  
Dr. Frank Schorr · Diplom-Physiker

In Kooperation mit Diehl & Partner AG  
CH - 7513 Silvaplana · Schweiz

Patentanwälte · European Patent Attorneys  
München · Hamburg\*

1. März 2001

Neue Deutsche Patentanmeldung

Z8450-DE FS/OC

Anmelder: Carl Zeiss  
D-89518 Heidenheim (Brenz)  
Deutschland

Teilchenoptische Linsenordnung und Verfahren  
unter Einsatz einer solchen Linsenordnung

Kanzlei · Office: München

Telefon · Telephone  
(089) 17 86 36-0

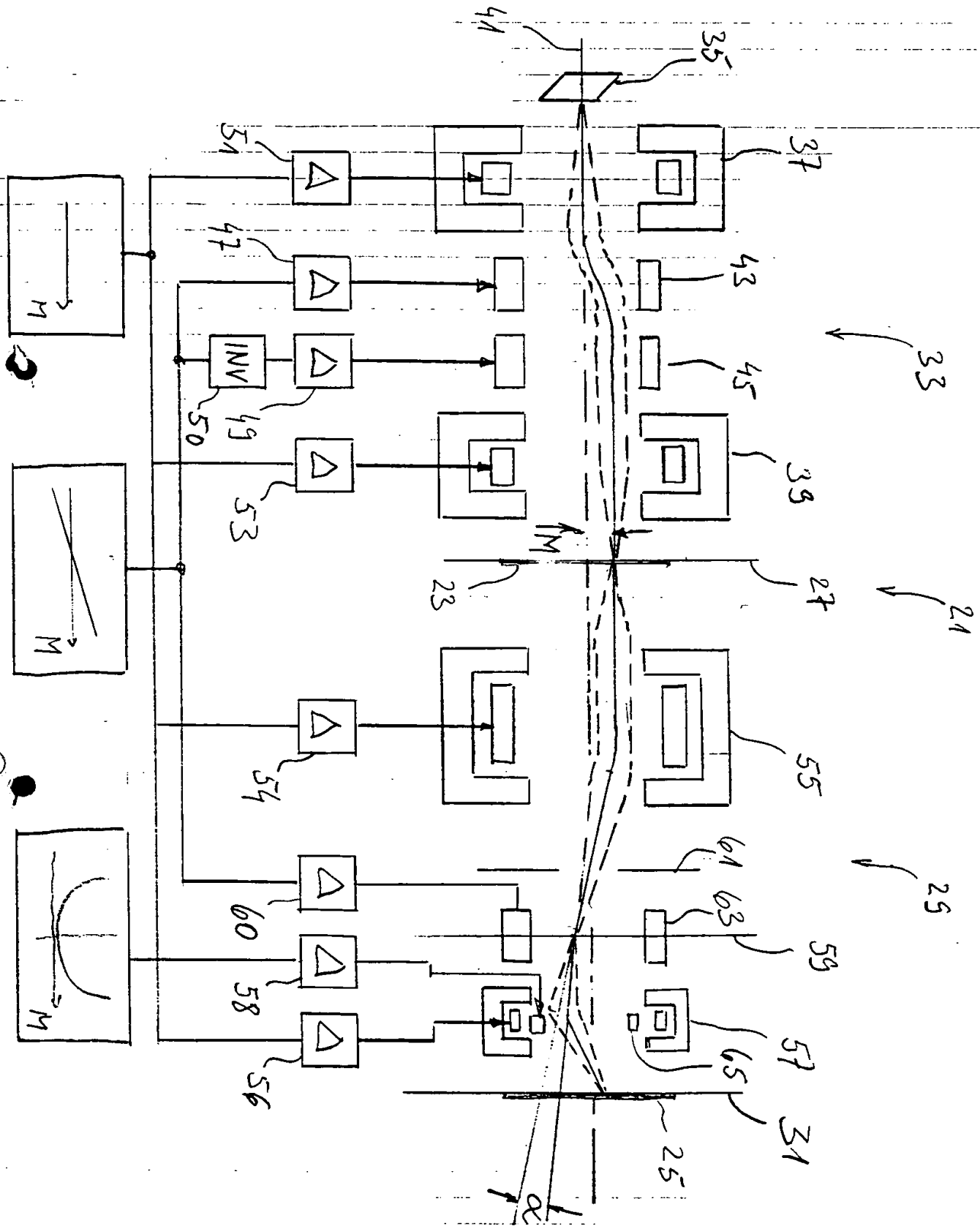
Telefax · Facsimile  
(089) 1 78 40 33  
(089) 1 78 40 34

E-mail/Internet  
info@diehl.ccn.de  
www.diehl-patent.de

Anschrift · Address  
Augustenstrasse 46  
D - 80333 München

Postanschrift · Mailing address  
P.O. Box 34 01 15  
D - 80098 München

Figur 2 der Zusammenfassung



Carl Zeiss

Z8450-DE

5                    **Teilchenoptische Linsenordnung und Verfahren**  
                     **unter Einsatz einer solchen Linsenordnung**

---

10       Die Erfindung betrifft eine teilchenoptische Linsenordnung,  
(       insbesondere zur teilchenoptischen Abbildung eines in einer  
       Objektfläche anordenbaren abzubildenden Objekts in eine Bild-  
       fläche, sowie ein Verfahren, bei dem eine solche Linsenord-  
15       nung zum Einsatz kommt, insbesondere ein Verfahren zur Her-  
       stellung eines Bauelements mit einem fotolithografischen  
       Schritt. Insbesondere ist die Linsenordnung zum Einsatz in  
       einem Elektronenstrahl-Projektionslithografiesystem sowie zum  
       Einsatz in einem Verfahren zur Herstellung eines Bauelements  
       mittels Elektronenstrahl-Projektionslithografie vorgesehen.

20       Als ein Verfahren, das mit einem Elektronenstrahl zur Abbil-  
       dung und Belichtung der strahlungsempfindlichen Schicht ar-  
       beitet, ist das sogenannte SCALPEL-Verfahren (Scattering with  
       Angular Limitation in "Projection Electron-beam Lithography")  
25       bekannt. Dieses Verfahren ist beschrieben in dem Weisbuch  
       "SCALPEL: A Projection Electron-Beam Approach to Sub-Optical  
       Lithography", Technology Review, Dezember 1999, von J. A.  
       Liddle, Lloyd R. Harriott, A.E. Novembre und W. K.  
       Waskiewicz, Bell Laboratories, Lucent Technologies, 600  
30       Mountain Avenue, Murray Hill, New Jersey 07974, USA. Dieses  
       Dokument wird hier durch Inbezugnahme vollumfänglich in die  
       Beschreibung einbezogen. Weiterhin betreffen die Patentdoku-  
       mente US 5 079 112, 5 130 213, 5 260 151, 5 376 505, US 5 258  
       246, US 5 316 879 sowie EP 0 953 876 A2 und EP 0 969 326 A2  
35       das SCALPEL-Verfahren. Diese vorangehend genannten Dokumente

werden ebenfalls durch Inbezugnahme vollumfänglich hier in diese Beschreibung aufgenommen.

5 Eine herkömmliche hierfür einsetzbare abbildende Linsenanordnung mit zwei fokussierenden Linsen wird nachfolgend unter Bezugnahme auf Figur 1 erläutert.

10 In Figur 1 ist schematisch ein Maskenträger 1 dargestellt, welcher ein Objekt, nämlich als Maske ausgebildete abzubildende Strukturen 3 derart trägt, dass diese in einer Brennebene einer fokussierenden Magnetlinse 5 angeordnet sind, d.h. von der Magnetlinse einen Abstand aufweisen, der der Brennweite der Magnetlinse entspricht.

15 Die Linse 5 bildet die Objektebene mit dem abzubildenden Muster 3 nach unendlich ab, und es ist eine weitere Magnetlinse 7 vorgesehen, welche das von der Linse 5 abgebildete Muster auf eine Substratoberfläche 9 abbildet, welche von der Linse 7 einen Abstand aufweist, der deren Brennweite entspricht. Zwischen den beiden Linsen 5 und 7 ist eine Lochblende 11 vorgesehen, welche von der Linse 5 einen Abstand aufweist, der deren Brennweite entspricht, und welche von der Linse 7 einen Abstand aufweist, der der Brennweite der Linse 7 entspricht. Teilchenstrahlen 12, 13, welche die Maske außerhalb der abzubildenden Strukturen 3 durchsetzen, durchsetzen die Maske im Wesentlichen geradlinig derart, dass sie durch einen sogenannten "Crossover"-Punkt laufen, der im Zentrum der Lochblende 11 angeordnet ist, so dass diese Strahlen auf die Substratoberfläche 9 abgebildet werden. Die abzubildenden Strukturen 3 sind mittels eines die Elektronen vergleichsweise stark streuenden Materials auf dem Maskenträger 1 definiert, so dass Strahlen, die auf eine solche stärker streuende Struktur 3 treffen, von ihrer ursprünglichen Bewegungsrichtung abgelenkt werden, wie dies in Figur 1 für einen Strahl 14 dargestellt ist. Dieser kann dann von der Linse 5 nicht auf den Crossover-Punkt in der Lochblende 11

abgelenkt werden, so dass er von der Lochblende 11 absorbiert und damit auch nicht auf das Substrat 9 abgebildet wird.

5 Zur Abbildung der Maske 3 auf das Substrat 9 muss nicht die gesamte Maske auf einmal teilchenoptisch beleuchtet werden, sondern es ist auch möglich, zu einem jeden Zeitpunkt lediglich ein Teilfeld der Maske zu beleuchten und dieses Teilfeld scannend über die Maskenfläche zu bewegen. In Figur 1 ist mit Zentral- und Randstrahlen 12 ein Teilfeld angedeutet, welches zentral auf einer optischen Achse 15 der Linsen 5 und 10 7 angeordnet ist, und mit 13 sind Zentral- und Randstrahlen eines Teilfelds angedeutet, welches in der Maskenebene um eine Strecke M versetzt zu der optischen Achse 15 angeordnet ist.

15 Bei der vorangehend erläuterten Linsenordnung hat sich herausgestellt, dass höheren Anforderungen genügende Abbildungscharakteristiken insbesondere für Teilfelder, welche aus der optischen Achse ausgelenkt sind, nicht zu erreichen sind.

20 Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine teilchenoptisch abbildende Linsenordnung vorzuschlagen, welche eine Reduzierung von Abbildungsfehlern ermöglicht.

25 Insbesondere ist es eine Aufgabe der Erfindung, eine Linsenordnung vorzuschlagen, welche die Reduzierung von Abbildungsfehlern für Teilchenstrahlen ermöglicht, die außerhalb einer optischen Achse von Komponenten der Linsenordnung verlaufen.

30 Ferner ist es eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung miniaturisierter Bauelemente vorzuschlagen, welches eine erhöhte Präzision bei der Fertigung des Bauelements ermöglicht.

Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung ist eine Linsenanordnung zur teilchenoptischen Abbildung eines in einer Objektfläche anordenbaren abzubildenden Objekts in eine Bildfläche vorgesehen, wobei die Linsenanordnung eine erste und eine  
5 zweite Fokussierlinseneinrichtung und eine Ablenklinseneinrichtung umfasst. Hierbei können die Objektfläche und die Bildfläche zunächst eine durch die Abbildung vermittelte beliebige Gestalt aufweisen, jedoch wird in der Praxis eine Annäherung wenigstens einer der Flächen an eine ebene Gestalt  
10 angestrebt werden, um zunächst eine einfache Gestaltung des Objekts oder/und der Bildfläche zu ermöglichen und dann Abbildungsfehler zu reduzieren, die unter anderem daraus entstehen, dass das Objekt nicht exakt in der vorgesehenen Objektfläche bzw. ein zu belichtendes Substrat nicht exakt in  
15 der vorgesehenen Objektfläche angeordnet ist.

Die erste Fokussierlinseneinrichtung stellt ein Feld bereit, welches auf die abbildenden Teilchen fokussierend wirkt, so dass wenigstens ein Teilfeld der Objektfläche in ein Teilfeld  
20 einer Zwischenbildfläche der Linsenanordnung abgebildet wird. Auch die zweite Fokussierlinseneinrichtung stellt ein fokussierend wirkendes Feld bereit, und zwar zur Abbildung wenigstens des Teilfelds der Zwischenbildfläche in ein Teilfeld der Bildfläche.

Zur Reduzierung von Abbildungsfehlern der ersten und/oder zweiten Fokussierlinseneinrichtung weist die Linsenanordnung eine Ablenklinseneinrichtung zur Bereitstellung eines auf die abbildenden Teilchen ablenkend wirkenden Feldes im Bereich  
30 der Zwischenbildfläche auf. Das ablenkend wirkende Feld der Ablenklinseneinrichtung führt zu einem Verkippen des Zwischenbildes bevor es durch die zweite Fokussierlinseneinrichtung auf die Bildfläche abgebildet wird. Es können also mit der Ablenklinseneinrichtung Abbildungsfehler, die zu einem  
35 Verkippen der Bildfläche relativ zu einer Soll-Bildfläche

führen, kompensiert werden. Insbesondere sind dies Bildfehler, welche als Bildfeldwölbung bezeichnet werden.

Unter einem fokussierend wirkenden Feld ist in diesem Zusammenhang ein Feld zu verstehen, welches einen geeignet gewählten Zentralstrahl im Wesentlichen nicht ablenkt und welches mit zunehmend größerem Abstand von dem Zentralstrahl und parallel zu diesem verlaufende dezentrale Strahlen zu dem Zentralstrahl hin beugt, wobei auch der Winkel, mit dem die dezentralen Strahlen zu dem Zentralstrahl hin gebeugt werden, mit zunehmendem Abstand des gebeugten Strahls von dem Zentralstrahl größer wird. Diese fokussierende Wirkung muss zu einem gegebenen Zeitpunkt nicht in dem gesamten Wirkungsbereich der Felder der ersten bzw. zweiten Fokussierlinseneinrichtung erfüllt sein, es genügt vielmehr, dass ein Teilbereich der Felder der Fokussierlinseneinrichtung auf die diesen Teilbereich durchlaufenden Teilchen eine solche fokussierende Wirkung aufweist. Die Wirkung der Fokussierlinseneinrichtung auf die abbildenden Teilchen ist damit vergleichbar zu der Wirkung einer Konvexlinse in der Lichtoptik.

Vorzugsweise stellt die erste oder/und zweite Fokussierlinseneinrichtung ein Feld bereit, welches ein bezüglich einem solchen Zentralstrahl eines Strahlenbündels im Wesentlichen achssymmetrisch ausgebildetes magnetisches oder/und elektrisches Feld umfasst. Alternativ oder ergänzend hierzu kann die erste oder/und zweite Fokussierlinseneinrichtung zur Erzielung der fokussierenden Wirkung zwei oder drei mit axialem Abstand voneinander angeordnete Feldanordnungen aufweisen, wobei die beiden Feldanordnungen Dipol- oder/und Quadropol-Feldanordnungen oder Kombinationen hiervon umfassen können und zusammen die fokussierende Wirkung aufweisen. Allgemein kann durch mehrere in Strahlrichtung hintereinander angeordnete Feldanordnungen, die selbst nicht nicht-rotations-symmetrische Felder erzeugen, insgesamt eine Linsenwirkung erreicht werden, die der einer Rundlinse entspricht.



Das ablenkend wirkende Feld der Ablenklinseneinrichtung lenkt dieses durchlaufende Teilchen in im Wesentlichen gleiche Richtung ab, weshalb das Feld der Ablenklinseneinrichtung insbesondere keine Axialsymmetrie aufweist. Vorzugsweise weist das Feld der Ablenklinseneinrichtung Spiegelsymmetrie zu einer Ebene auf, in welcher sich ein Zentralstrahl eines Strahlenbündels der abbildenden Teilchen erstreckt. Insbesondere ist das Feld der Ablenklinseneinrichtung ein magnetisches oder/und elektrisches Dipolfeld, das quer zu einer Ausbreitungsrichtung der abbildenden Teilchen orientiert ist. Das Feld der Ablenklinseneinrichtung hat auf die abbildenden Teilchen somit eine Wirkung, die mit der Wirkung einer Keillinse in der Lichtoptik vergleichbar ist.

Das Feld der Ablenklinseneinrichtung ist dabei in einem gewissen sich aus der Zwischenbildfläche heraus erstreckenden Bereich um die Zwischenbildfläche wirksam, d.h. der Fläche, in die die Objektfläche durch die erste Fokussierlinseneinrichtung abgebildet wird.

Die Zwischenbildfläche hat dabei die Eigenschaft, dass Teilchenstrahlen, welche die Objektfläche von einem Ort, allerdings unter verschiedenen Winkeln verlassen, die Zwischenbildfläche an im Wesentlichen einem gemeinsamen Ort mit ebenfalls unterschiedlichen Winkeln durchsetzen, wobei Strahlen, die von verschiedenen Orten der Objektfläche herrühren, auch die Zwischenbildfläche an verschiedenen Orten durchsetzen.

Die Zwischenbildfläche der ersten Fokussierlinseneinrichtung unterscheidet sich damit von der Beugungsfläche der ersten Fokussierlinseneinrichtung, welche zwischen der Zwischenbildebene und der ersten Fokussierlinseneinrichtung selbst angeordnet ist. Die Beugungsfläche weist nämlich die Eigenschaft auf, dass sie von Strahlen, die die Objektfläche von verschiedenen Orten, allerdings unter gleichem Winkel verlassen,

an gleichen Orten, allerdings unter verschiedenen Winkeln durchsetzt wird. Hierbei durchsetzen Strahlen, die die Objektfläche unter verschiedenen Winkeln verlassen, die Beugungsfläche auch an verschiedenen Orten.

5

Eine der zweiten Fokussierlinseneinrichtung zugeordnete Beugungsfläche ist ferner zwischen der Zwischenbildebene und der zweiten Fokussierlinseneinrichtung angeordnet. In dieser zweiten Beugungsfläche treffen sich Strahlen, die die Bildfläche unter gleichen Winkeln treffen, an einem gemeinsamen Ort, allerdings unter verschiedenen Winkeln.

10

15

In der Beugungsfläche der ersten oder/und zweiten Fokussierlinseneinrichtung ist vorzugsweise eine Blende vorgesehen, welche Strahlen absorbiert, die die Objektfläche unter einem Winkel durchsetzen, der einen vorbestimmten Winkel übersteigt.

20

25

30

35

Vorzugsweise ist die Linsenordnung zur Abbildung eines Teilfelds der Objektfläche auf die Bildfläche vorgesehen, wobei der Ort des Teilfelds auf ebenfalls ein Teilfeld der Objektfläche variabel einstellbar ist. Insbesondere ist hierbei ein Abstand des Teilfeldes von einer vorgegebenen Achse einstellbar, welche beispielsweise eine zentrale optische Achse der ersten oder/und zweiten Fokussierlinseneinrichtung umfasst. Es zeigt sich hierbei, dass die Ablenklinseineinrichtung besonders dazu geeignet ist, Effekte der Bildfeldwölbung, welche durch Abbildungsfehler der ersten oder/und zweiten Fokussierlinseneinrichtung hervorgerufen werden, zu kompensieren. Hierzu wird eine Stärke des Feldes der Ablenklinseineinrichtung vorzugsweise derart eingestellt, dass es sich proportional zu dem Abstand des Teilfeldes von der vorgegebenen Achse ändert. Die Ablenklinseineinrichtung führt dabei zu einem Kippen des in die Bildfläche abgebildeten Teilfelds und kann insbesondere derart eingestellt werden, dass die Bildfläche im Bereich des gerade abgebildeten Teilfelds eine in

etwa eben ausgebildete Gestalt hat und somit zeitlich nacheinander sämtliche Teilfelder einer ebenen Objektfläche in im Wesentlichen eine ebene Bildfläche abgebildet werden können.

5     Hierbei ist insbesondere auch vorgesehen, dass die Stärke der  
Felder der ersten oder/und zweiten Fokussierlinseneinrichtung  
mit einer quadratischen Abhängigkeit von dem Abstand des  
Teilfeldes von der vorgegebenen Achse geändert wird, wodurch  
ein mit einer Bildfeldwölbung einhergehender Fokusfehler  
10     derart kompensiert werden kann, dass die Bilder einer ebenen  
Objektfläche auch weitgehend in einer ebenen Bildfläche  
scharf abgebildet sind.

Unter einem zweiten Aspekt sieht die Erfindung ein Verfahren  
15     zur Herstellung eines Bauelements vor, wobei es sich vorzugs-  
weise um stark miniaturisierte Bauelemente, wie etwa mikrome-  
chanische Strukturen oder integrierte Schaltungen handelt. Im  
Fall der integrierten Schaltung enthält eine Maske ein Schal-  
tungsmuster, das einer einzelnen Schicht der auf einem geeig-  
20     neten Substrat, beispielsweise einem Silizium-Wafer, auszu-  
bildenden Schaltung entspricht. Zur Abbildung des Musters auf  
einen Zielbereich (englisch "Die") des Substrats wird letzte-  
res zunächst mit einer strahlungsempfindlichen Schicht  
("resist") bedeckt. Sodann wird die strahlungsempfindliche  
25     Schicht exponiert bzw. belichtet, indem das Muster der Maske  
mittels geladener Teilchen; beispielsweise Elektronen oder  
Ionen, auf die strahlungsempfindliche Schicht abgebildet  
wird. Die strahlungsempfindliche Schicht wird daraufhin ent-  
wickelt, und es werden entweder die belichteten bzw. expo-  
30     nierten oder die unbelichteten bzw. nicht exponierten Berei-  
che der belichteten Schicht abgetragen. Die verbleibende  
Struktur der strahlungsempfindlichen Schicht dient dann als  
Maske in beispielsweise einem Ätzschritt, einem Ionenimplan-  
tationsschritt, einem Materialabscheidungsschritt oder ähnli-  
35     chem.

Erfindungsgemäß ist hierbei vorgesehen, in einem fotolitho-  
 grafischen Schritt des Verfahrens ein durch eine Maske de-  
 finiertes Muster mittels der vorangehend beschriebenen Lin-  
 senanordnung auf ein teilchenempfindliches Substrat abzubil-  
 5 den.

Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand  
 von Zeichnungen näher erläutert. Hierbei zeigt:

- 10 Figur 1 eine Lin sen an ord nung ge mäß dem Stand der Tech  
 nik;
- Figur 2 einen schematischen Aufbau einer erfindungs-  
 ge mäß en Lin sen an ord nung sowie einen  
 schematischen Strahlengang hierdurch,
- 15 Figur 3 verschiedene Wicklungstypen einer in Figur 2  
 ge zeigten Ablenklin sen ein rich tung,
- Figur 4 verschiedene Anordnungen von  
 Stromleiterwindungen der in Figur 2 ge zeigten  
 Ablenklin sen ein rich tung am Umfang eines
- 20 Figur 5 eine weitere schematische Darstellung des  
 Strahlengangs durch die in Figur 2 ge zeigte  
 Lin sen an ord nung und
- Figur 6 eine vergrößerte Darstellung eines Teils der  
 25 Figur 5 in der Nähe einer Bildfläche der  
 Lin sen an ord nung, und
- Figur 7 mehrere Darstellungen zur Erläuterung der  
 Bildfehler reduzierenden Wirkung der  
 erfindungsgemäß en Lin sen an ord nung.

30 Eine in Figur 2 dargestellte Elektronenprojektionslitho-  
 grafieanordnung 21 dient dazu, eine auf einer Maske 23 de-  
 finierte Struktur auf einen mit einer strahlungsempfindlichen  
 Schicht versehenen Halbleiter-Wafer 25 abzubilden. Hierzu ist  
 35 die wirksame Schicht der Maske 23 in einer Objektebene 27  
 einer Lin sen an ord nung 29 angeordnet, in deren Bildebene 31

die strahlungsempfindliche Schicht des Wafers 25 angeordnet ist.

5 Neben der Linsenanordnung 29 zur Abbildung der Maske 23 auf den Wafer 25 weist die Projektionslithografieanordnung 21 noch eine Beleuchtungsanordnung 33 zur Beleuchtung der Maske 23 auf. Die Beleuchtungsanordnung 33 umfasst eine in Figur 2 nicht dargestellte Elektronenquelle zur Ausleuchtung einer Strahlformungsblende 35, welche ein beleuchtetes Teilfeld der  
10 Maske 23 definiert. Die von der nicht dargestellten Elektronenquelle ausgeleuchtete Strahlformungsblende 35 wird hierzu mittels zweier fokussierender Linsen 37 und 39 in die Objektebene 27 der Linsenanordnung 29 abgebildet. Die beiden fokussierenden Linsen 37 und 39 sind bezüglich einer optischen  
15 Achse 41 der Projektionsanordnung 21 symmetrisch angeordnet. Das durch die ebenfalls zentral auf der optischen Achse 41 angeordnete Strahlformungsblende 35 definierte beleuchtete Teilfeld in der Objektebene 27 kann quer zu der Objektebene aus der optischen Achse 51 heraus verlagert werden, indem  
20 zwei Ablenkeinheiten 43 und 45 entsprechend angesteuert werden. Hierzu weisen die Ablenkeinheiten 43 und 45 entsprechende Treiber 47 und 49 auf, welche mit einer zur gewünschten Auslenkung M des Teilfelds von der optischen Achse 41 proportionalen Abhängigkeit angesteuert werden, wobei allerdings die Ansteuerung der beiden Treiber 47 und 49 mit jeweils umgekehrtem Vorzeichen erfolgt, wozu ein Inverter 50 vorgesehen ist. Die Ansteuerung der Fokussierlinsen 37 und 39 erfolgt über Treiber 51 und 53 unabhängig im Wesentlichen von der Auslenkung M.

30 Die Abbildung des beleuchteten Teilfelds von der Objektebene 27 der Linsenanordnung 29 in die Bildebene 31 derselben erfolgt im Wesentlichen durch eine Fokussierlinse 55 und eine weitere Fokussierlinse 57. Hierbei sind die Brennweiten der  
35 beiden Fokussierlinsen 55 und 57 sowie deren Abstände von der Objektebene 27 und der Bildebene 31 derart aufeinander abge-

stimmt, dass die Abbildung von der Objektebene 27 auf die Bildebene 31 um einen Faktor 1:4 verkleinernd erfolgt.

5      Ferner sind die Brennweiten und Abstände so abgestimmt, dass die Objektebene 27 durch die Fokussierlinse 55 zunächst in eine Zwischenbildebene 59 abgebildet wird, welche durch die Fokussierlinse 57 schließlich in die Bildebene 31 abgebildet wird.

10     Zur Einstellung der entsprechenden Brennweiten der Fokussierlinsen 55 und 57 sind einzeln einstellbare, von der Auslenkung M allerdings im Wesentlichen unabhängig angesteuerte Treiber 54 bzw. 56 vorgesehen.

15     In einer Beugungsebene der Fokussierlinse 55 ist ferner eine Lochblende 61 angeordnet, welche Elektronen absorbiert, die an einer möglicherweise stärker streuenden Struktur der Maske 23 gestreut wurden und deshalb die strahlungsempfindliche Schicht auf dem Wafer 25 nicht erreichen sollen, womit die  
20     gewünschte Abbildung der Strukturen der Maske auf das Substrat erzeugt wird.

25     Zur Kompensation von Abbildungsfehlern zwischen Objektebene 27 und Bildebene 31 ist eine sogenannte dynamische Fokusspule 65 vorgesehen, welche innerhalb der Fokussierlinse 57 angeordnet ist. Die dynamische Fokusspule 65 dient zur Kompensation eines Fokusfehlers und wird mittels eines Treibers 58 derart angesteuert, dass sich ihr Feld mit einer im Wesentlichen quadratischen Abhängigkeit von der Auslenkung des Teilfelds M ändert. Eine solche Kompensation eines Fokusfehlers  
30     in Abhängigkeit von der Auslenkung M des Teilfelds könnte auch mit den Fokussierlinsen 55 und 57 selbst erfolgen. Allerdings weisen diese Polschuhe auf und sind deshalb relativ träge, so dass die Kompensation durch die separate dynamische  
35     Fokusspule 65 präziser möglich ist.

Ferner ist zur Kompensation des Effekts einer Bildfeldwölbung bei der Abbildung durch die Fokussierlinien 55 und 57 in der Zwischenbildebene 59 eine Ablenklinseneinrichtung 63 vorgesehen, welche Strahlen, die durch diese hindurch verlaufen, um einen einstellbaren Winkel  $\alpha$  ablenkt. Die Ablenklinseneinrichtung 63 wird dabei mittels eines Treibers 60 derart angesteuert, dass der Ablenkwinkel  $\alpha$  sich im Wesentlichen proportional zur Auslenkung M des Teilfelds von der optischen Achse 59 ändert.

Mögliche Ausführungsformen für Windungen der Ablenklinseneinrichtung 63 sind in Figur 3 schematisch dargestellt. Hierbei zeigt Figur 3a die Ausführung von Windungen als Toroid-Spule, Figur 3b die Ausführung als Sattelspule und Figur 3c die Ausführung als Verbund-Sattelspule. Die einzelnen Spulenwindungen der Ablenklinseneinrichtung sind dabei auf einen oder mehrere Ferritringe 71 (vgl. Figur 4) aufgewickelt, die konzentrisch zur optischen Achse 41 angeordnet sind. Die Verteilung der einzelnen Windungen in Umfangsrichtung des Ferrit-rings 71 ist aus Figur 4 ersichtlich.

Figur 4a zeigt hierbei Windungen, die zur Erzeugung eines in eine Y-Richtung gerichteten magnetischen Dipolfelds  $B_y$  dienen, und Figur 4b zeigt Windungen, die zur Erzeugung eines hierzu orthogonalen Dipolfelds  $B_x$  dienen. In Figur 4c ist die Kombination der in den Figuren 4a und 4b gezeigten Windungen auf dem Ferritring 71 dargestellt.

Die Wirkung der in der Zwischenbildebene 59 angeordneten Ablenklinseneinrichtung 63 wird nun unter Bezugnahme auf die Figuren 5 und 6 erläutert. Die Fokussierlinsen 55 und 57 sind in Figur 5 entsprechend ihrem optischen Analogon als Konvexlinsen dargestellt, während die Ablenklinseneinrichtung 59 entsprechend ihrem optischen Analogon in Figur 5 als Keil bzw. Prisma symbolisiert ist.

In Figur 5 ist die Objektebene 27 am Ort  $z = 0$  angeordnet, die Fokussierlinse 55 weist eine Brennweite von 61,5 mm auf und ist am Ort  $z = 160$  mm angeordnet. Damit ist die zu der Objektebene am Ort  $z = 0$  korrespondierende Zwischenbildebene 59 der Fokussierlinse 55 am Ort  $z = 260$  mm angeordnet. Die Fokussierlinse 57 weist eine Brennweite von 28,6 mm auf und ist am Ort  $z = 360$  mm angeordnet, so dass durch die Fokussierlinse 57 die Zwischenbildebene 59 in die Objektebene 31 am Ort  $z = 400$  abgebildet wird.

Es sei nun angenommen, dass die beiden Fokussierlinsen 55 und 57 abbildungsfehlerfreie Linsen sind, so dass die Objektebene 27 tatsächlich in die Bildebene 31 abgebildet wird. Ein Teilfeld T in der Objektebene 27 wird damit, bei abgeschalteter Ablenklinseneinrichtung 63 alleine durch die Fokussierlinsen 55 und 57 in ein Teilfeld T' in der Bildebene 31 abgebildet. In Figur 5 ist ein unteres Randstrahlenbündel 73 des Teilfelds T sowie ein oberes Randstrahlenbündel 75 desselben dargestellt.

Die Wirkung der Ablenklinseneinrichtung 59 auf die Strahlen 73 und 75 ist dabei derart, dass diese in der Zwischenbildebene 59 jeweils um einen Winkel  $\alpha$  abgelenkt werden. Dies wiederum hat zur Folge, dass sich die Strahlenbündel 73, 75 nicht sämtlich in der Bildebene 31 treffen. Lediglich das Strahlenbündel 73, welches in der Objektebene 27 von der optischen Achse, also einer Bildhöhe von 0 mm ausging, vereinigt sich auf der Objektebene 31 (Schnittpunkt A in Figur 6). Das Strahlenbündel 75 hingegen, welches in der Objektebene 27 an einer Bildhöhe von 12 mm startete, vereinigt sich etwa 1 mm vor der Bildebene 31 in einem Schnittpunkt B in Figur 6.

Hieraus wird deutlich, dass die Wirkung der in der Zwischenbildebene 59 angeordneten Ablenklinseneinrichtung zu einer Verkipfung des Teilbilds in der Bildebene 31 führt. Mit der in der Zwischenbildebene 59 angeordneten Ablenklinseneinrich-



tung 63 ist somit eine Möglichkeit geschaffen, ein gezieltes Kippen des Teilbilds in der Bildebene 31 herbeizuführen. Umgekehrt ist es damit aber auch möglich, ein durch Bildfehler der Linsenordnung 29 erzeugtes und aus der Bildebene 31 herausgekipptes Bild derart zu verkippen, dass es in die Bildebene 31 zurückverlagert wird und damit schließlich die Abbildungsfehler der Fokussierlinsen 55 bzw. 57 wenigstens teilweise kompensiert werden.

Dies ist nachfolgend im Zusammenhang mit Figur 7 erläutert. Dort ist die Linsenordnung 29 lediglich schematisch als abbildendes System in Form eines Kastens dargestellt, welches eine als Ebene ausgebildete Objektfläche 27 in eine Bildfläche 31 abbildet. In Figur 7a ist die Ablenklinseneinrichtung 59 nicht in Betrieb, und Effekte der Bildfeldwölbung führen dazu, dass die Bildfläche nicht, wie die Objektfläche 27, in einer Ebene 25, welche beispielsweise die Oberfläche eines Wafers ist, angeordnet ist, sondern deutlich aus dieser herausgewölbt ist.

Ein zentral zur optischen Achse 41 angeordnetes Teilfeld T1 wird durch die Linsenordnung 29 dabei derart auf die gewölbte Bildfläche 31 abgebildet, dass deren Zentrum auf dem Wafer 25 fokussiert ist, während ihr oberer Rand einen Abstand  $x_1$  von der Oberfläche des Wafers 25 entfernt fokussiert ist.

Ein mit seinem Zentrum um M versetzt von der optischen Achse 41 angeordnetes Teilfeld T2 wird in ein Teilfeld T2' abgebildet, dessen Zentrum eine Strecke  $x_2$  vor dem Wafer 25 fokussiert ist, und dessen Ränder um Strecken  $x_1$  bzw.  $x_3$  vor dem Wafer 25 fokussiert sind. Es ist ersichtlich, dass die Wölbung des Bildfelds 31 zu einer erheblichen Abbildungsunschärfe in der Ebene des Wafers 25 führt.

In Figur 7b ist eine erste Maßnahme zur Korrektur der Bildfeldwölbung dargestellt. Es wird dort das zentral zur optischen Achse 41 angeordnete Teilfeld T1 durch die Linsenanordnung 29 genauso in Richtung zu dem Wafer 25 abgebildet, wie dies in Zusammenhang mit Figur 7a erläutert wurde. Es wird somit das Teilfeld T1 in ein Teilfeld T1' auf einer Bildfläche 31<sub>1</sub> abgebildet, deren Zentrum auf dem Wafer 25 liegt. Ränder des Bildfelds T1' weisen somit einen Fokusfehler von x1 auf, wie dies ebenfalls in Figur 7a der Fall war.

Für die Abbildung des um den Betrag M von der optischen Achse 41 weg versetzten Teilfelds T2 stellt allerdings die dynamische Fokusspule 65 ein magnetisches fokussierendes Feld derart bereit, dass die Objektfläche 27 auf eine Bildfläche 31<sub>2</sub> abgebildet wird, welche gegenüber der Bildfläche 31<sub>1</sub> für das Teilfeld T1 derart verlagert ist, dass ein Zentrum des abgebildeten Teilfelds T2' den Wafer 25 schneidet bzw. auf diesen fokussiert ist. Damit tritt im Zentrum des abgebildeten Teilfelds T2' im Wesentlichen kein Fokussierfehler auf, während an dem oberen Rand des abgebildeten Teilfelds T2' der Fokussierfehler auf einen Wert x4 verringert wurde, der kleiner ist als der vergleichbare Fokussierfehler x3 der Figur 7a.

Der bei der Abbildung des Teilfelds T2 in das abgebildete Teilfeld T2' durch Zuschalten der dynamischen Fokusspule 65 bereits verringerte Bildfehler lässt sich nun noch weiter verringern, indem die Ablenklinseneinrichtung 63 in Betrieb genommen wird. Dies ist in Figur 7c erläutert. Auch in Figur 7c erfolgt die Abbildung des Teilfelds T1 ohne Einfluss der dynamischen Fokussierspule 65 und der Ablenklinseneinrichtung 63, wie dies auch in den Figuren 7a und 7b der Fall war. Allerdings erfolgt die Abbildung des Teilfelds T2, welches um den Betrag M aus der optischen Achse 41 heraus verlagert ist, derart, dass, wie in Figur 7b, die dynamische Fokusspule 65 den Fokus des Zentrums des abgebildeten Teilfelds T2' wieder auf die Oberfläche des Wafers 25 legt. Ferner wird durch eine

geeignete Ansteuerung der Ablenklinseneinrichtung 63 eine Verkippung der Bildfläche in eine Bildfläche  $31_2$ , derart erzeugt, dass die Bildfläche  $31_2$  symmetrisch zum Zentrum des abgebildeten Teilfelds  $T2'$  auf dem Wafer 25 ausgerichtet ist.

5 Damit ist ein Fokussierfehler an den Rändern des abgebildeten dezentralen Teilfelds  $T2'$  gleich dem Wert  $x_1$  des Abbildungsfehlers an den Rändern des abgebildeten zentralen Teilfelds  $T1'$ .

10 Dies bedeutet, dass auch mit Abstand von der optischen Achse 41 angeordnete Teilfelder mit einer Qualität auf den Wafer 25 abgebildet werden können, die mit einer Qualität der Abbildung nahe der optischen Achse vergleichbar ist.

15 Die gewählte Verkippung der Bildfläche führt dabei, in Zusammenwirkung mit einer entsprechenden Fokuskorrektur, dazu, dass die Bildfläche für ein abgebildetes Teilfeld besonders gut an eine Soll-Bildfläche, nämlich die Waferoberfläche, angenähert ist.

20 In einem scannenden System, in dem das beleuchtete Teilfeld gleichförmig über eine ebene Objektfläche bewegt wird, kann somit ebenfalls eine Abbildung auf eine ebene Bildfläche mit vergleichsweise geringen Abbildungsfehlern auf Grund von  
25 Bildfeldwölbungen erreicht werden, indem eine durch die Ablenklinseneinrichtung herbeigeführte Bildkipfung mit einer zunehmenden Auslenkung des beleuchteten Teilfelds kontinuierlich erhöht wird. Insbesondere wird die Ablenklinseneinrichtung dabei derart angesteuert, dass sich deren Wirkung proportional zur Auslenkung des Teilfelds ändert. Einhergehend  
30 mit der Änderung der Wirkung der Ablenklinseneinrichtung wird dabei auch die Wirkung der ersten oder/und zweiten Fokussierlinseneinrichtung derart geändert, dass deren Fokus für das gerade belichtete Teilfeld mit der Soll-Bildfläche zusammenfällt. Die Änderung der Wirkung der ersten oder/und zweiten  
35 Fokussierlinseneinrichtung erfolgt dabei mit im Wesentlichen

quadratischer Abhängigkeit von der Auslenkung des gerade belichteten Teilfelds.

5 In dem vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispiel ist die Ablenklinseineinrichtung durch ein magnetisches Dipolfeld gebildet. Es gibt jedoch auch die Möglichkeit, ein elektrisches Dipolfeld oder jegliches andere Feld vorzusehen, dessen Wirkung auf einen Bereich um die durch die erste Fokussierlinseneinrichtung 51 definierte Zwischenbildebene zu einer  
10 Ablenkung der Strahlen bzw. Verkipfung des Zwischenbilds führt.

Die erste bzw. zweite Fokussierlinseneinrichtung ist in dem vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispiel als eine zur  
15 optischen Achse 41 achssymmetrische Magnetlinse mit Polschuh beschreiben. Alternativ hierzu ist es jedoch auch möglich, die fokussierende Wirkung durch ein elektrostatisches Feld zu erzeugen.

20 Sowohl für elektrische wie auch magnetische fokussierende Felder ist es wesentlich, dass diese in dem Bereich des gerade beleuchteten Teilfeldes fokussierend wirken, während die Felder in Bereichen außerhalb des beleuchteten Teilfelds nicht unbedingt die fokussierende Wirkung aufweisen müssen.

25 Die vorangehend beschriebene Ausführungsform der erfindungsgemäßen Linsenordnung ist in einem Elektronenprojektionslithographiesystem eingesetzt. Es ist jedoch auch möglich, die Linsenordnung in einem System einzusetzen, welches nicht  
30 mit Elektronen sondern mit beispielsweise Ionen arbeitet. Die Linsenordnung ist ferner in einem Verfahren zur Herstellung elektronischer Bauelemente sowie zur Herstellung anderer miniaturisierter Bauelemente einsetzbar, wobei die Abbildung von der Objektfläche in die Bildfläche der Belichtung einer  
35 teilchenempfindlichen Schicht in einem Lithografieschritt dient. Allerdings ist der Einsatz der Linsenordnung nicht

auf Lithografieschritte beschränkt, sondern immer dann möglich, wenn eine Objektfläche mit hoher Präzision teilchenoptisch in eine Bildfläche einer gewünschten Gestalt abzubilden ist.

### Patentansprüche

- 5 1. Linseanordnung zur teilchenoptischen Abbildung eines in einer Objektfläche (27) anordenbaren abzubildenden Objekts (23) in eine Bildfläche (31), umfassend:

10 eine erste Fokussierlinseneinrichtung (55) zur Bereitstellung eines auf die abbildenden Teilchen fokussierend wirkenden Feldes zur Abbildung des Objekts (23) von der Objektfläche (27) in eine Zwischenbildfläche (59),

15 eine zweite Fokussierlinseneinrichtung (57) zur Bereitstellung eines weiteren auf die abbildenden Teilchen fokussierend wirkenden Feldes zur Abbildung des in die Zwischenbildfläche (59) abgebildeten Objekts (23) in die Bildfläche (31), und

20 eine Ablenklinseneinrichtung (63) zur Bereitstellung eines auf die abbildenden Teilchen ablenkend wirkenden Feldes in einem Bereich der Zwischenbildfläche (59).

- 25 2. Linseanordnung nach Anspruch 1, wobei das Feld der ersten oder/und zweiten Fokussierlinseneinrichtung (55) ein bezüglich einem Zentralstrahl eines Strahlenbündels (73) der abbildenden Teilchen im Wesentlichen achssymmetrisch ausgebildetes magnetisches oder/und elektrisches Feld umfasst.

- 30 3. Linseanordnung nach Anspruch 1, wobei das Feld der ersten oder/und zweiten Fokussierlinseneinrichtung zwei bezüglich einem Zentralstrahl eines Strahlenbündels der abbildenden Teilchen mit axialem Abstand voneinander angeordnete magnetische oder/und elektrische Dipol- oder/und Quadrupol-Feldanordnungen umfasst.
- 35

4. Linsenordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Feld der Ablenklinseneinrichtung (63) ein bezüglich einer gemeinsam mit einem Zentralstrahl eines Strahlenbündels der abbildenden Teilchen sich erstreckenden Ebene im Wesentlichen spiegelsymmetrisch ausgebildetes magnetisches Feld umfasst.
5. Linsenordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Feld der Ablenklinseneinrichtung (63) ein quer zu einem Zentralstrahl eines Strahlenbündels der abbildenden Teilchen ausgerichtetes magnetisches oder/und elektrisches Dipolfeld umfasst.
6. Linsenordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei in einer Beugungsebene (61) der ersten Fokussierlinseneinrichtung (55) oder/und der zweiten Fokussierlinseneinrichtung (57) eine Lochblende (61) vorgesehen ist.
7. Linsenordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, ferner umfassend eine erste Ansteuereinrichtung für die Ablenklinseneinrichtung (63) zur Einstellung einer Stärke von deren ablenkend wirkenden Feld und eine zweite Ansteuereinrichtung für die erste Fokussierlinseneinrichtung (55) oder/und die zweite Fokussierlinseneinrichtung (57) zur Einstellung einer Stärke von deren fokussierend wirkenden Feldern, wobei die erste Ansteuereinrichtung die Stärke des Feldes der Ablenklinseneinrichtung (63) mit einer im Wesentlichen proportionalen Abhängigkeit von einer externen Grösse (M) ändert und die zweite Ansteuereinrichtung die Stärke des Feldes der ersten bzw. zweiten Fokussierlinseneinrichtung (55), (57) mit einer im wesentlichen quadratischen Abhängigkeit von der externen Grösse (M) ändert.
8. Linsenordnung nach Anspruch 7, wobei die Linsenordnung (29) zur Abbildung eines von einer optischen Achse

(41) der Linsenordnung (29) einen variablen Abstand (M) aufweisenden Teilfeldes (T) der Objektfläche (27) auf die Bildfläche (31) vorgesehen ist und wobei die externe Grösse den Abstand (M) des Teilfeldes (T) von der optischen Achse (41) umfasst.

9. Linsenordnung nach Anspruch 8, wobei das Feld der Ablenklinseneinrichtung (63) paarweise verschiedene Strahlen der das Teilfeld (T) abbildenden Teilchenstrahlen (73), (75) um im Wesentlichen gleiche Winkel  $\alpha$  ablenkt.

10. Linsenordnung nach Anspruch 8 oder 9, ferner umfassend eine Beleuchtungseinrichtung (35), (37), (39), (43), (45) zur Beleuchtung lediglich des Teilfeldes (T) der Objektfläche (27) und eine dritte Ansteuervorrichtung (47), (49) für die Beleuchtungseinrichtung, mittels der die Beleuchtungseinrichtung ansteuerbar ist, um den Abstand (M) des beleuchteten Teilfeldes (T) von der optischen Achse (41) zu ändern.

11. Linsenordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei Bildfläche (27) und die Objektfläche (31) jeweils eine vorbestimmte Sollgestalt aufweisen, wobei die zweite Ansteuervorrichtung die Stärke des Ablenkfeldes der ersten bzw. zweiten Fokussiereinrichtung derart ändert, dass ein zentraler Bereich des Teilfeldes (T) im Wesentlichen scharf auf die Bildfläche abgebildet wird, und wobei die erste Ansteuervorrichtung die Stärke des Ablenkfeldes der Ablenklinseneinrichtung derart ändert, dass auch Randbereiche des Teilfeldes im Wesentlichen scharf auf die Bildfläche abgebildet werden.

12. Linsenordnung nach Anspruch 11, wobei die Gestalt der Objektfläche eine Ebene ist.



13. Verfahren zur Herstellung eines Bauelements, umfassend wenigstens einen photolithographischen Schritt, wobei der photolithographische Schritt das Übertragen eines durch eine Maske (23) definierten Musters auf ein teilchenempfindliches Substrat (25) mittels der Linseanordnung (29) nach einem der Ansprüche 1 bis 12 umfasst, wobei die Maske (23) in der Objektfläche (27) und das Substrat (25) in der Bildfläche (31) angeordnet sind.

5

10

### Zusammenfassung

5 Es wird eine Linsenanordnung zur teilchenoptischen Abbildung eines in einer Objektfläche (27) anordenbaren abzubildenden Objekts (23) in eine Bildfläche (31) vorgeschlagen, welche

10 eine erste Fokussierlinseneinrichtung (55) zur Bereitstellung eines auf die abbildenden Teilchen fokussierend wirkenden Feldes zur Abbildung des Objekts (23) von der Objektfläche (27) in eine Zwischenbildfläche (59),

15 eine zweite Fokussierlinseneinrichtung (57) zur Bereitstellung eines weiteren auf die abbildenden Teilchen fokussierend wirkenden Feldes zur Abbildung des in die Zwischenbildfläche (59) abgebildeten Objekts (23) in die Bildfläche (31), und

20 eine Ablenklinseneinrichtung (63) zur Bereitstellung eines auf die abbildenden Teilchen ablenkend wirkenden Feldes in einem Bereich der Zwischenbildfläche (59) umfasst. Die Anordnung der Ablenklinseneinrichtung in der Zwischenbildfläche dient vornehmlich der Kompensation von Abbildungsfehlern, wie etwa Abbildflachwölbung.

25 (Figur 2)

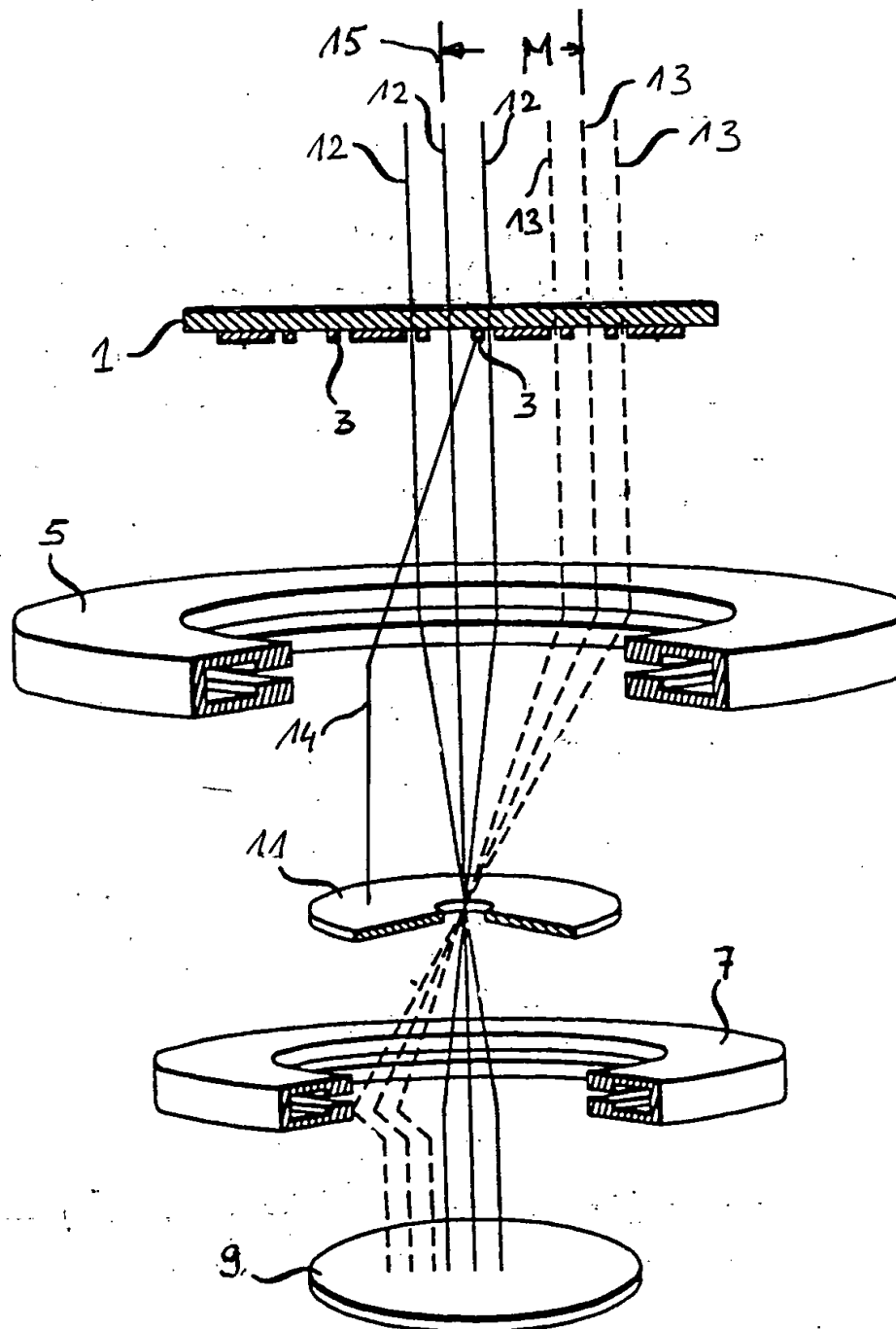


Fig. 1

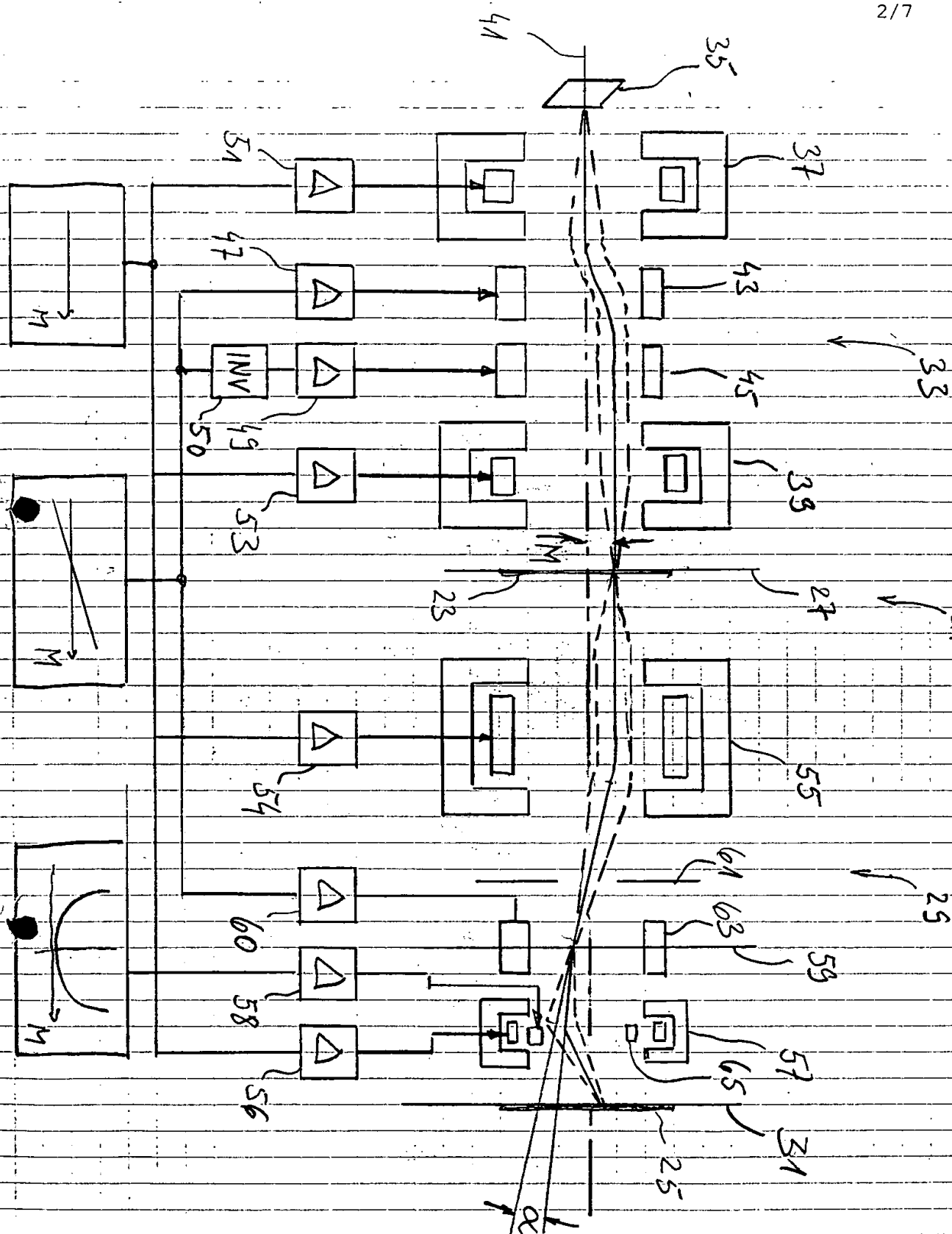
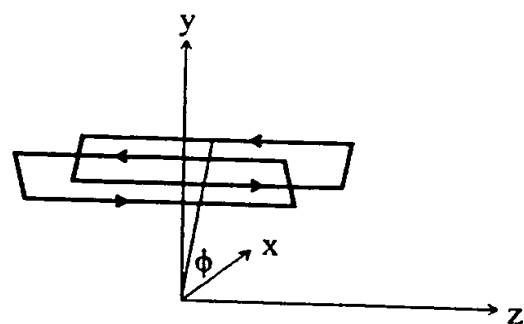
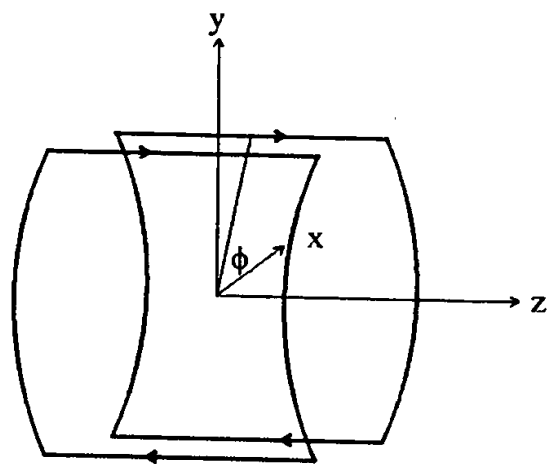


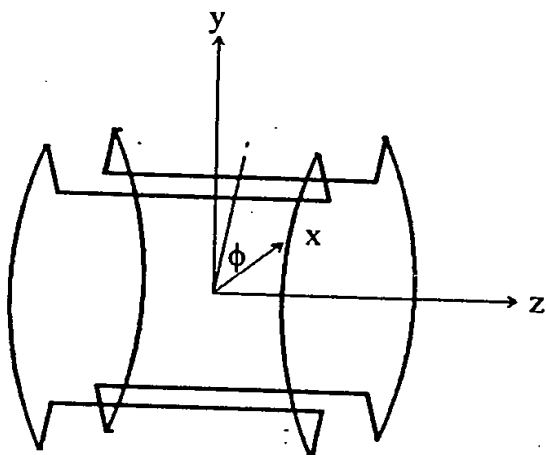
Fig. 2



(a)

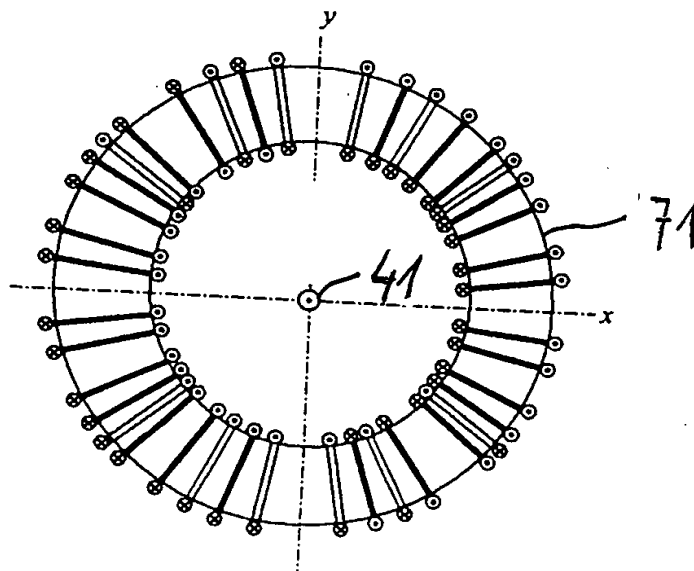
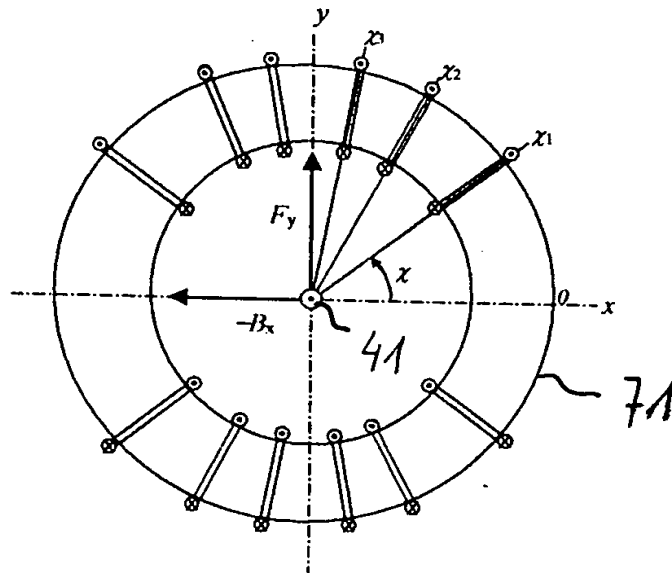
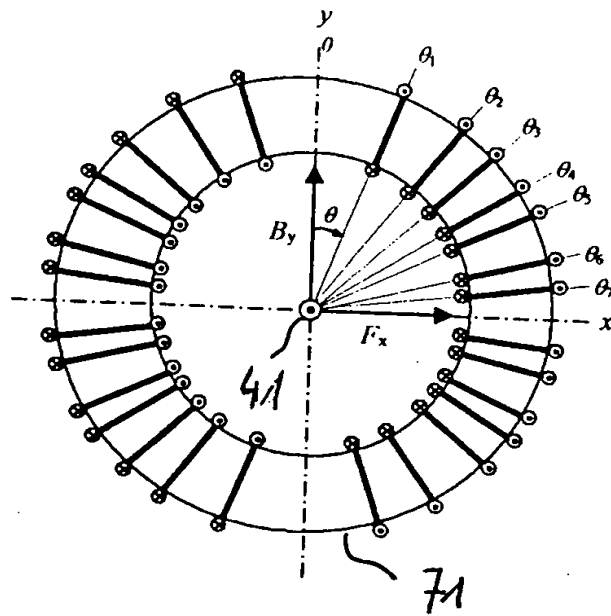
Fig 3a

(b)

Fig 3b

(c)

Fig 3c



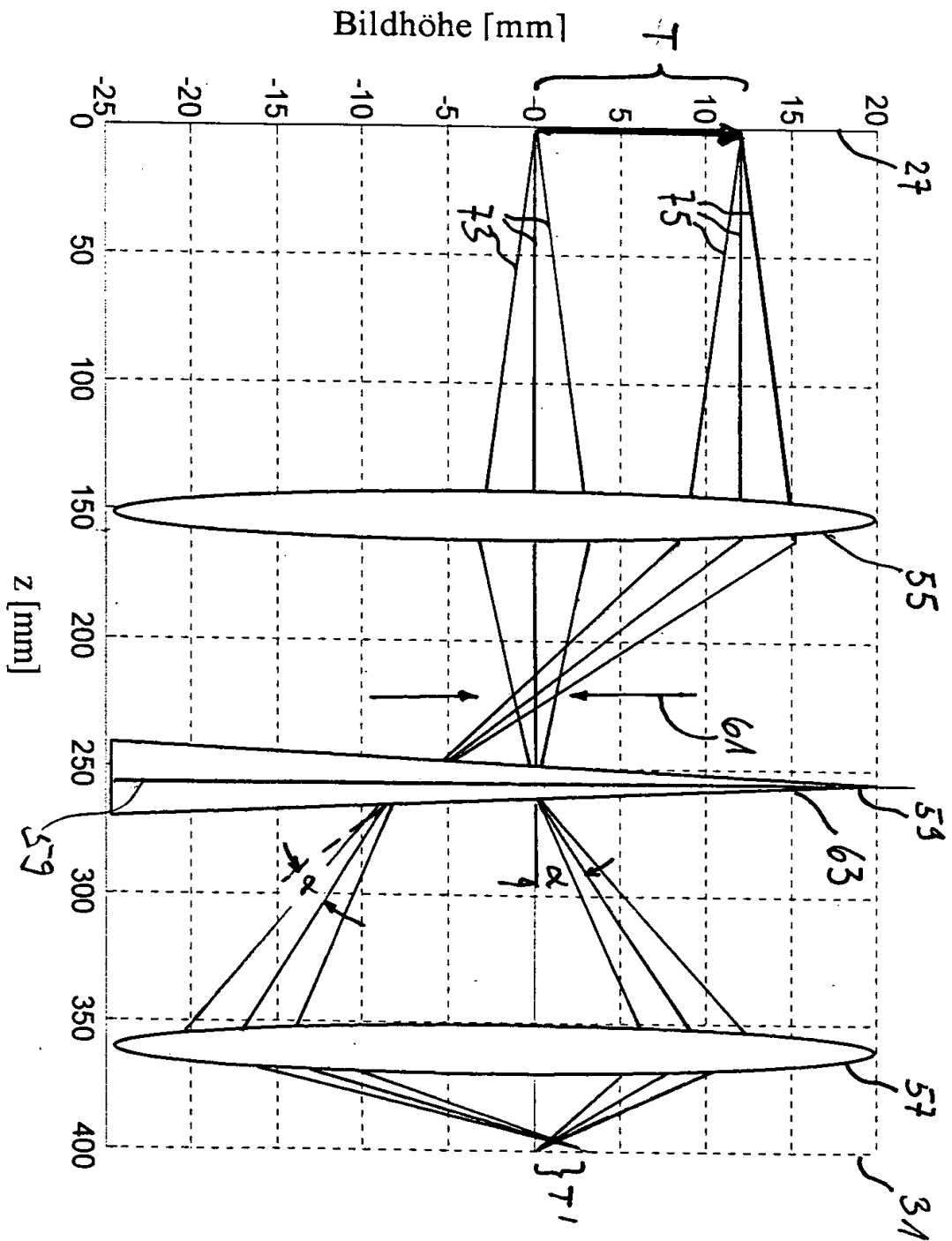
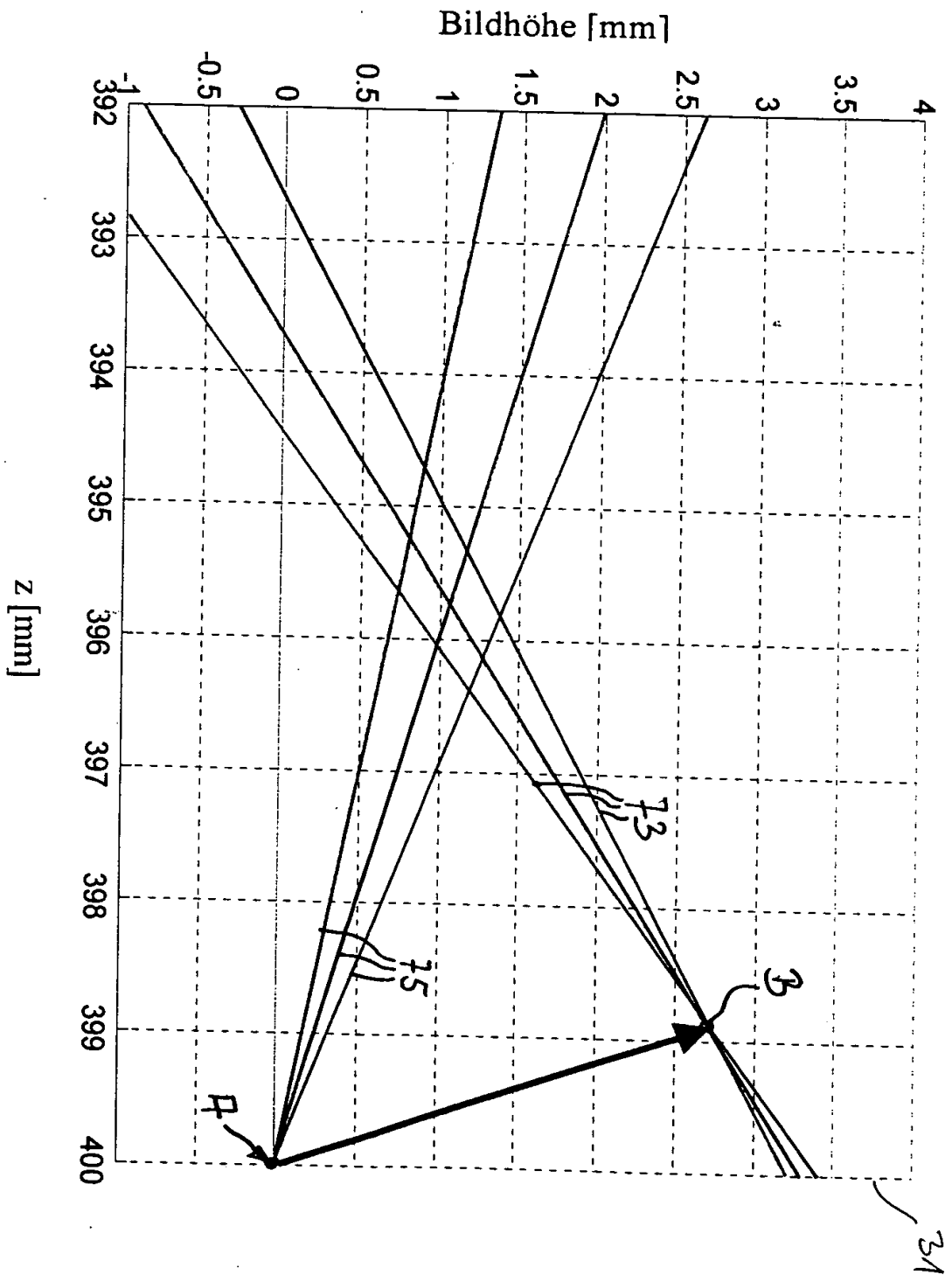


Fig 5

Fig 6



